

Abstract

Yu. Smeyanov,
Yu. Lakhtyn,
A. Romanyuk,
O. Belonozhko,

*Sumy State University, 2,
Rynskogo-Korsakova st., 40007
Sumy, Ukraine*

DENSITY OF THE ADHERENCE OF RESTORATIVE MATERIAL TO THE ENAMEL OF TEETH WITH DIFFERENT FORMATION OF CARIOUS CAVITY EDGE

Introduction. At present, the question of the influence of carious cavity edge design on the density of the adherence of restorative material to the enamel remains discursive; there is some confusion in the open access publications on this topic.

Objectives. To study the density of the adherence of restorative material to the enamel of teeth depending on the design of the formation of carious cavity edge.

Materials and methods. The research was carried out using 30 intact third molars extracted upon clinical indications. The samples were divided into three groups, 10 in each, depending on the formation of carious cavities of the 1st class according to Black classification. In group I a classical carious cavity with even, straight-edged walls without the formation of the bevel (folds) of the enamel was formed. In group II, the outer beveling of enamel was made at an angle of 45° to the enamel-dentine border. In group III, the cavity was formed with an internal beveling of enamel. Carious cavities were restored with micro-hybrid composite light cured material LATELUX (PE "LATUS", Kharkiv). One-time vertical mechanical load with a force of 98.07 N was performed on restoration, and treated with thermocycled in a mode of 200 cycles at a temperature from 5 °C to 55 °C with an exposure of 60 seconds at each temperature. The teeth were separated in a medio-distal direction through a center of restoration with diamond disks, placed in a column of a raster electron microscope with a low vacuum chamber REM 102, and the contact area of the restoration with solid tissues of the teeth was studied, the density of their adherence, and the present gaps were measured and expressed in micrometers (μm)

Results. Electron diffraction pattern of the samples of group I showed that the density of the adherence of the restorative material to the enamel of the carious cavity was different throughout: sometimes thick, sometimes the space in the contact area was determined. Moreover, the space was formed between the adhesive layer of the material and enamel. The space size averaged $7.90 \pm 0.73 \mu\text{m}$ (95% CI: 6.3: 9.5). Enamel prisms adjoined in the area of contact with the material partly linear, longitudinal along its axis or transversely, obliquely with a slanted body.

In the samples of group II restorative material was evenly in contact with the layer of adhesive, adherence of which to the enamel edge of the carious cavity was dense almost throughout. But in some areas there was a violation of the contact of the enamel with the adhesive layer, there were cracks $2.76 \pm 0.52 \mu\text{m}$ (95% CI: 1.6: 3.9). Enamel prisms in the area of contact with the material were located more transversely to their axis, obliquely with a slanted body.

In the samples of group III, the adherence of the restorative material to the enamel of the carious cavity was not dense almost throughout. The restorative material had a uniform contact with the adhesive. At the same time, there was a breach of contact in the form of cracks of 16.50 ± 0.89 (95% CI: 14.6: 18.4) μm observed between adhesive and enamel. Enamel prisms in the zone of contact with the material were linear, longitudinal along its axis.

Conclusions. The greatest density of the adherence of restorative material to the enamel of teeth occurs when forming the outer beveling of the enamel edge in the carious cavities of the 1st class according to Black classification.

Keywords: carious cavity class I, preparation of carious cavity, restoration of carious cavity, density of the adherence of material to enamel, scanning electron microscopy.

Corresponding author: y.lahtin@med.sumdu.edu.ua

Резюме

Ю. В. Сміянов,
Ю. В. Лахтін,
А. М. Романюк,
О. В. Білоножко,
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова,
2, м. Суми, Україна, 40007

ЩІЛЬНІСТЬ ПРИЛЯГАННЯ РЕСТАВРАЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ДО ЕМАЛІ ЗУБІВ З РІЗНИМ ФОРМУВАННЯМ КРАЮ КАРІОЗНОЇ ПОРОЖНИНИ

Мета. Вивчити щільність прилягання відновлювального матеріалу до емалі зубів залежно від дизайну формування краю каріозної порожнини.

Матеріали і методи. Проведено дослідження на 30 видалених за клінічними показаннями інтактних третіх молярах. Зразки поділили на три групи по 10 в кожній. В I групі формували класичну каріозну порожнину без формування скоса (фальца) емалі, II – зовнішній скіс емалі під кутом 45° до емалево-дентинної межі, III – внутрішній скіс емалі. Порожнини відновлювали композиційним світлотвердним матеріалом, здійснювали механічне навантаження, зуби піддавали термоциклюванню, сепарували в медіо-дистальному напрямку через центр реставрацій, досліджували в растровому електронному мікроскопі "РЭМ 102" і вивчали зону контакту реставрації з твердими тканинами зубів, щільність їх прилягання, проміжки вимірювали і виражали в мікрометрах (мкм).

Результати. В зразках I групи щільність прилягання матеріалу до емалі порожнини на всьому протязі було різним: місцями щільне, іноді визначали простір між адгезивним шаром матеріалу і емаллю до $7,90 \pm 0,73$ мкм (ДІ 95 %: 6,3:9,5). В зразках II групи матеріал рівномірно контактував з прошарком адгезиву, прилягання якого до емалі краю каріозної порожнини було щільним майже на всьому протязі, в окремих ділянках відзначалося порушення контакту, щілини розміром $2,76 \pm 0,52$ мкм (ДІ 95 %: 1,6:3,9). В зразках III групи прилягання реставраційного матеріалу до емалі каріозної порожнини не було щільним майже на всьому протязі, зазначалися щілини розміром $16,50 \pm 0,89$ (ДІ 95 %: 14,6:18,4) мкм.

Висновки. Найбільша щільність прилягання відновлювального матеріалу до емалі зубів відбувається при формуванні зовнішнього скосу емалевого краю в каріозних порожнинах I класу за Блеком.

Ключові слова: каріозна порожнина I класу, препарування каріозної порожнини, відновлення каріозної порожнини, щільність прилягання матеріалу до емалі, скануюча електронна мікроскопія.

Резюме

**Ю. В. Сміянов,
Ю. В. Лахтін,
А. М. Романюк,
О. В. Білоножко,**

Сумський державний університет, ул. Римського-Корсакова, 2, г. Сумы, Україна, 40007

ПЛОТНОСТЬ ПРИЛЕГАНИЯ РЕСТАВРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ К ЭМАЛИ ЗУБОВ С РАЗЛИЧНЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ КРАЯ КАРИОЗНЫХ ПОЛОСТЕЙ

Цель. Изучить плотность прилегания восстановительного материала к эмали зубов в зависимости от дизайна формирования края кариозной полости.

Материалы и методы. Проведено исследование на 30 удаленных по клиническим показаниям интактных третьих молярах. Образцы разделили на три группы по 10 в каждой. В I группе формировали классическую кариозную полость без формирования скоса (фальца) эмали, II – внешний скос эмали под углом 45° к эмалеводентинной границе, III – внутренний скос эмали. Полости восстанавливали композиционным светоотверждаемым материалом, осуществляли механическую нагрузку, зубы подвергали термоциклированию, сепарировали в медио-дистальном направлении через центр реставраций, исследовали в растровом электронном микроскопе "РЭМ 102» и изучали зону контакта реставрации с твердыми тканями зубов, плотность их прилегания, промежутки измеряли и выражали в микрометрах (мкм).

Результаты. В образцах I группы плотность прилегания материала к эмали на всем протяжении была разной: местами плотное, иногда определяли пространство между адгезивным слоем материала и эмалью до $7,90 \pm 0,73$ мкм (ДИ 95 %: 6,3: 9,5). В образцах II группы материал равномерно контактировал с прослойкой адгезива, прилегание которого к эмали было плотным почти на всем протяжении, в отдельных участках отмечалось нарушение контакта, щели размером $2,76 \pm 0,52$ мкм (ДИ 95 %: 1,6: 3,9). В образцах III группы прилегание материала к эмали не было плотным почти на всем протяжении, отмечались щели размером $16,50 \pm 0,89$ (ДИ 95 %: 14,6: 18,4) мкм.

Выводы. Наибольшая плотность прилегания восстановительного материала к эмали зубов наблюдается при формировании внешнего скоса эмалевого края в кариозных полостях I класса по Блеку.

Ключевые слова: кариозная полость I класса, препарирование кариозной полости, восстановление кариозной полости, плотность прилегания материала к эмали, сканирующая электронная микроскопия.

Автор, відповідальний за листування: y.lahtin@med.sumdu.edu.ua

Вступ

Основною причиною недовговічності реставрацій в зубах є вторинний карієс (ВК) [2, 18]. Вторинний карієс виникає через низку факторів, пов'язаних як з фізико-хімічними властивостями відновлювального матеріалу, особливостями ризиків його виникнення у пацієнтів, так і з технікою препарування кариозних порожнин [1, 4, 5, 8, 10]. В практичній діяльності лікар стикається з кількома потенційними факторами ризику виникнення ВК на рівні оператора, пацієнта, зуба і відновлення [12]. Кожен окремий фактор і

їх взаємне поєднання може призвести до його розвитку [15].

Як згадували вище, на розвиток ВК впливає техніка препарування кариозних порожнин. При препаруванні емалевого краю кариозної порожнини I класу за Блеку зазвичай дотримуються двох підходів: з формуванням скосу і без скосу. В даний час питання про вплив дизайну краю кариозної порожнини на маргінальну адаптацію відновлювального матеріалу до стінок порожнини залишається дискусійним, по ньому

досі зберігається деяка плутанина у відкритих публікаціях [14].

Деякі авторів вказують, що немає необхідності робити скіс уздовж країв каріозної порожнини, тому що це призводить до непотрібного її збільшення, стоншення країв [9]. Тому для реставрацій I класу бічних зубів адгезивними композиційними матеріалами висуваються окремі вимоги до препарування. Рекомендується щадне мінімальне препарування без формування скося емалі, видалення тільки зруйнованих тканин [16]. Інші дослідники вказують на необхідність формування скося в емалі, бо це дає змогу зменшити проникність фарби між матеріалом і емаллю, тобто ущільнити їх контакт [7]. Тому виникає необхідність дослідити цю проблему.

Мета

Вивчити щільність прилягання відновлювального матеріалу до емалі зубів залежно від дизайну формування краю каріозної порожнини.

Матеріали і методи

Проведено дослідження на 30 видалених за клінічними показаннями інтактних третіх молярах. Зуби очищали від м'яких тканин, поміщали на 2 хвилини в 5,25 % розчин гіпохлориту натрію для дезінфекції і зберігали в дистильованій воді до використання. З дослідів виключали зуби з ознаками карієсу, пошкодженою емаллю та стертістю твердих тканин.

Відповідно до проекту підготовки зразки були випадковим чином розділені на три групи по 10 в кожній залежно від сформованих у них каріозних порожнин I класу за Блеком. В I групі зубів формували класичну каріозну порожнину з рівними, прямовисними стінками без формування скося (фальца) емалі. В II групі – робили зовнішній скіс емалі під кутом 45° до емалево-дентинної межі. В зубах III групи порожнину формували з внутрішнім скося емалі.

Каріозні порожнини формували на оклюзійній поверхні розмірами в медіо-дистальному напрямку 4 мм, вестибуло-оральному – 3 мм і глибиною – на 2 мм нижче емалево-дентинної межі твердосплавним бором типу FG 700 SL з карбїду вольфраму (фірма «SS WHITE») для турбінного наконечника з розпиленням води і повітря на швидкості обертання 300000 об/хв з наступним відновленням мікрогібридним композиційним світлотверднучим матеріалом LATELUX (тип II, ISO 4049: 2000) (ПП «Латус», Харків) згідно з інструкцією виробника.

Для зістарювання пломб всі зуби піддавали термоциклюванню в режимі 200 циклів при

температурі від 5° до 55 ° С з експозицією 60 секунд при кожній температурі [19].

На наступному етапі зразки заливали епоксидним клеєм у форму, робили в ньому лунки і після застигання поміщали кореневу частину зубів для подальших досліджень. За допомогою твердоміра TP 5006-02 (НПП «Техмаш», Росія) додатково на реставрацію здійснювали одноразове вертикальне механічне навантаження силою 98,07 Н (відповідає 10 кг-сили) протягом 2 секунд.

Вивчення щільності прилягання пломбувального матеріалу до емалі виконували на растровому електронному мікроскопі РЕМ 102 (Selmi, Україна) при прискорюючій напрузі 30 KeV. Для цього зуби сепарували алмазними дисками товщиною 0,1 мм при 3000 об/хв з охолодженням в медіо-дистальному напрямку через центр реставрацій. З метою усунення дефектів і грубих шорсткостей поверхню розпилів полірували до дзеркального блиску за допомогою полірувальних дисків Sof-Lex (3M ESPE), промивали етиловим спиртом для видалення забруднень. Розпили зберігали у фізіологічному розчині з кристалами тимолу (для запобігання висихання і дезінфекції). Зразки закріплювали на предметному столику, для електропровідності на їх поверхню напилювали вуглець завтовшки 12–15 нм у вакуумній установці ВУП-5, що забезпечувало оптимальні умови для електронно-мікроскопічного дослідження, фіксували до металевих пластин сумішшю клею ПВА з графітом. Після цього їх поміщали в колону растрового електронного мікроскопа із камерою низького вакууму "РЕМ 102", фотографували при різному збільшенні і вивчали зону контакту реставрації з твердими тканинами зубів, щільність їх прилягання та наявні проміжки вимірювали і виражали в мікрометрах (мкм).

Статистичну обробку отриманих даних проводили з допомогою статистичної комп'ютерної програми MS Excel XP Windows. Визначали середню і її похибку (M + m), довірчий інтервал (ДІ 95 %) середньої. Вірогідність статистичної різниці між групами перевіряли непараметричним U-критерієм Манна–Уїтні.

Результати дослідження

На електронограмах зразків I групи щільність прилягання реставраційного матеріалу до емалі каріозної порожнини на всьому протязі було різним: місцями щільне, іноді визначали простір в зоні контакту. Причому простір

утворювався між адгезивним шаром і емаллю. Розмір щілини в середньому дорівнював $7,90 \pm 0,73$ мкм (ДІ 95 %: 6,3:9,5). Емалеві призми

прилягали в зоні контакту з матеріалом частково лінійно, повздовжню за своєю віссю або поперечно, косо скошеним тілом (рис. 1).

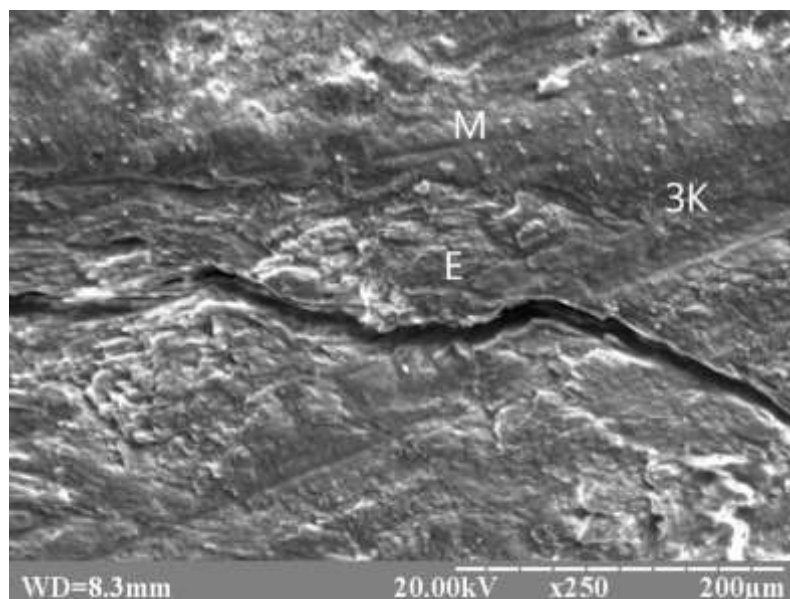


Рисунок 1 – СЕМ зони контакту відновлювального матеріалу з емалевим краєм: без скосу емалі (Е – емаль, М – матеріал, ЗК – зона контакту)

В зразках II групи реставраційний матеріал рівномірно контактував з прошарком адгезиву, прилягання якого до емалі краю каріозної порожнини було щільним майже на всьому протязі (рис. 2). Але в окремих ділянках відзначалося

порушення контакту емалі з адгезивним шаром, були щілини розміром $2,76 \pm 0,52$ мкм (ДІ 95 %: 1,6:3,9). Емалеві призми в зоні контакту з матеріалом розташовані більше поперечно їхньої вісі, косо скошеним тілом.

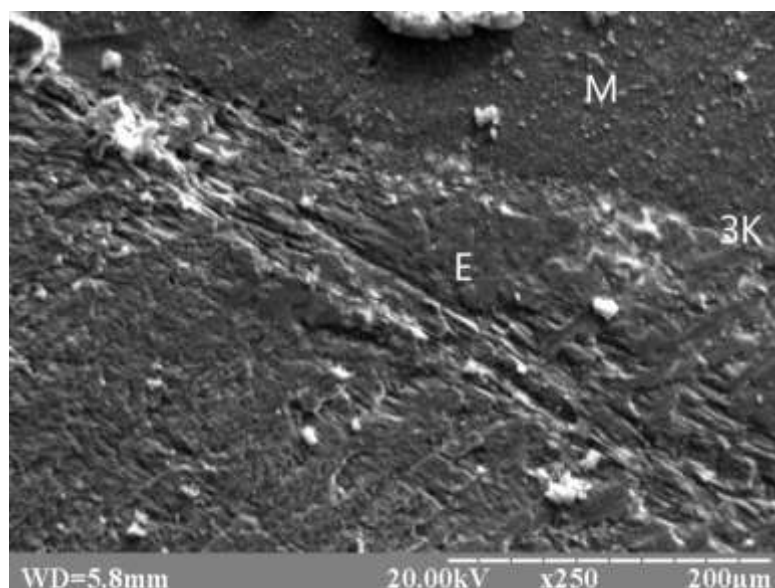


Рисунок 2 – СЕМ зони контакту відновлювального матеріалу з емалевим краєм: зовнішній скіс емалі (Е – емаль, М – матеріал, ЗК – зона контакту)

В зразках III групи прилягання реставраційного матеріалу до емалі каріозної порожнини не було щільним майже на всьому протязі. Відновлювальний матеріал мав рівномірний контакт з адгезивом. В той же час між адгезивом і емаллю

зазначалося порушення контакту у вигляді щілин розміром $16,50 \pm 0,89$ (ДІ 95 %: 14,6:18,4) мкм (рис. 3). Емалеві призми в зоні контакту з матеріалом розташовані лінійно, повздовжню за своєю віссю.

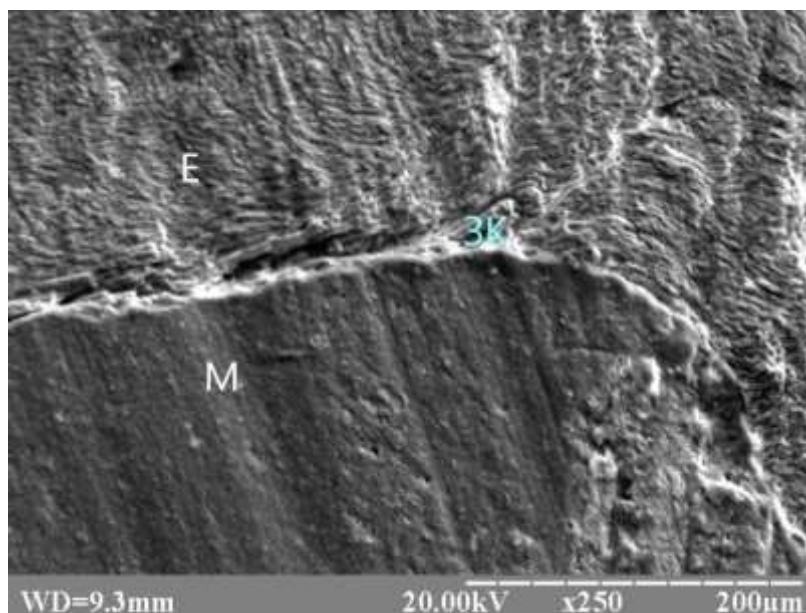


Рисунок 3 – СЕМ зони контакту відновлювального матеріалу з емалевим краєм: внутрішній скіс емалі (Е – емаль, М – матеріал, ЗК – зона контакту)

Обговорення результатів

В процесі виконання функції емаль зубів піддається внутрішнім напруженням і деформаціям. Це забезпечує їй механічну міцність і сприяє адаптації до функціонального навантаження, яке передається від кристалів гідроксиапатиту емалі на призму, потім через емалево-дентинну межу на нижчі морфологічні структури. Тим самим забезпечується компенсація напружень, яка не дозволяє зруйнуватися всій системі. Компенсація здійснюється за рахунок модуля пружності окремих емалевих призм, який, в свою чергу, залежить від орієнтації кристалів гідроксиапатиту, наявності оболонки призм, щільності пакування смуг Гунтера Шредера в одиниці площі емалі [3, 13, 20].

Фізичні характеристики напружень і деформацій в емалі інтактних зубів відрізняються від реставрованих. Власне напруження в твердих тканинах інтактного зуба максимально (74,2 МПа) тільки в області прикладання навантаження. У реставрованому же зубі з приводу каріозної порожнини I класу максимальне напруження значно вище (119 МПа) і виникає в зоні контакту емалі з реставрацією [11].

Відомо, що межа міцності при розтягуванні емалі залежить від орієнтації її призм. Функціо-

нальне навантаження, яке спрямовано по осі призм, забезпечує межу міцності емалі при розтягуванні в 2 рази вище, ніж спрямованого перпендикулярно [6]. Ці дані свідчать про важливість дизайну формування краю каріозної порожнини I класу з урахуванням орієнтації призм і кристалів апатиту.

Призми емалі в ділянці фісур розходяться радіально від поверхні вглиб. При препаруванні емалі і формуванні різного дизайну краю вони і перетинаються по-різному. Цілком очевидно, що навантаження через реставрацію на них буде орієнтоване не однаково. Від напрямку навантаження по відношенню до призм в емалі будуть виникати відповідні процеси напруження і деформації.

Як показали результати дослідження, присвячені вивченню маргінальної адаптації реставраційного матеріалу до стінок каріозної порожнини за допомогою тесту мікропідтікання фарбника, в зубах, де емалевий край каріозної порожнини сформовано прямовисно без скосу, призми при препаруванні перетинаються косо. Отже, навантаження спрямовано частково і по осі призм, і перпендикулярно до них. У зоні контакту реставрації з емаллю в ній виникають середні напружено-деформаційні процеси, в резуль-

таті чого порушується міцність з'єднання і виникають мікропідтікання барвника в 66 % досліджуваних зубів. При сформованому краї емалі у вигляді внутрішнього конуса пучки емалевих призм перетинаються уздовж осі і реставраційний матеріал контактує з їх бічною поверхнею. Функціональне навантаження спрямоване перпендикулярно до їх осі. Це найменш сприятливий варіант, при якому виникають максимальні напружено-деформаційні процеси в емалі. Тому мікропідтікання барвника спостерігаються у 80 % зубів, що може свідчити про недостатню щільність контакту реставрації з тканинами зуба. Найменші значення напруги і деформації в емалі відбуваються при наявності зовнішнього

скоса під кутом 45° . При такому дизайні формування її краю призми перетинаються поперечно своєї осі. Відповідно і навантаження через реставрацію передається по осі призм, що забезпечує найбільш щільне прилягання матеріалу до стінок краю каріозної порожнини і викликає маргінальну проникність барвника тільки в 20 % зубів [17]. Ці дані узгоджуються з отриманими нами результатами, а саме: розмір щілин в зоні контакту реставраційного матеріалу з емаллю зубів, краї порожнин в яких сформовані з зовнішнім скосом (II група зразків) в 3 рази менші за I ($p = 4E-05$) і майже в 6 разів за III групу ($p = 3E-06$).

Висновки

Таким чином, найбільша щільність прилягання відновлювального матеріалу до емалі зубів відбувається при формуванні зовніш-

нього скосу емалевого краю в каріозних порожнинах I класу за Блеком.

References (список літератури)

1. Al Sunbul H, Silikas N, Watts DC. Polymerization shrinkage kinetics and shrinkage-stress in dental resin-composites. *Dental Materials*. 2016;32(8):998-1006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.05.006>.
2. Alvanforoush N, Palamara J, Wong RH, Burrow MF. Comparison between published clinical success of direct resin composite restorations in vital posterior teeth in 1995–2005 and 2006–2016 periods. *Australian dental journal*. 2017;62(2): 132-145.
3. An B, Wang R, Arola D, Zhang D. Damage mechanisms in uniaxial compression of single enamel rods. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2015;42:1-9.
4. Benetti AR, Peutzfeldt A, Lussi A, Flury S. Resin composites: Modulus of elasticity and marginal quality. *Journal of dentistry*. 2014;42(9):1185-1192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.07.004>.
5. Braga RR, Koplín C, Yamamoto T, Tyler K, Ferracane JL, Swain MV. Composite polymerization stress as a function of specimen configuration assessed by crack analysis and finite element analysis. *Dental Materials*. 2013;29(10):1026-1033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.07.012>.
6. Carvalho RM, Santiago SL, Fernandes CAO, Suh BI, Pashley DH. Effects of prism orientation on tensile strength of enamel. *Journal of Adhesive Dentistry*. 2000;2(4):251-257.
7. Coelho-de-Souza FH, Rocha Ada C, Rubini A, Klein-Júnior CA, Demarco FF. Influence of adhesive system and bevel preparation on fracture strength of teeth restored with composite resin. *Braz Dent J*. 2010;21:327-331. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-64402010000400007>.
8. Ferracane JL, Hilton TJ. Polymerization stress—Is it clinically meaningful? *Dental Materials*, 2016;32(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.06.020>
9. Isenberg BP, Leinfelder KF. Efficacy of beveling posterior composite resin preparations. *J Esthet Dent*. 1990; 2:70–73. DOI: 10.1111/j.1708-8240.1990.tb00612.x.
10. Kuper NK, van de Sande FH, Opdam NJM. [et al.]. Restoration Materials and Secondary Caries Using an In Vitro Biofilm Model. *JDR*. 2015;94(1):62-68.
11. Lakhtin YV, Smeyanov YV. Modeling the stress state of hard tissues of a tooth in the process of restoration of class I carious cavities. *GISAP: Medical Science, Pharmacology*. 2016;9:17-20.
12. Laske M, Opdam NJ, Bronkhorst EM, Braspenning JC, Huysmans MCD. Longevity of direct restorations in Dutch dental

- practices. Descriptive study out of a practice based research network. *Journal of dentistry*. 2016;46:12-17.
13. Lynch CD, O'Sullivan VR, Dockery P, McGillicuddy CT, Sloan AJ. Hunter-schreger band patterns in human tooth enamel. *J Anat*. 2010;217(2):106-15.
 14. Lynch CD, Wilson NHF. Managing the phase-down of amalgam: part I. Educational and training issues. *British Dental Journal*. 2013;215(3):109-113. doi:10.1038/sj.bdj.2013.737.
 15. Peutzfeldt A, Asmussen E. Determinants of in vitro gap formation of resin composites. *J Dent*. 2004;32 (2):109–115.
 16. Sabbagh J, McConnell RJ, McConnell MC. Posterior composites: Update on cavities and filling techniques. *Journal of dentistry*. 2017;57:86-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.11.010>.
 17. Smeyanov Y, Lakhtin Y. The influence of stress-strain processes in tooth enamel on the marginal permeability of class i restorations with a different design of the edge of the carious cavity. *Wiadomości Lekarskie*. 2018; LXXI(1):135-139.
 18. Staxrud F, Tveit AB, Rukke HV, Kopperud SE. Repair of defective composite restorations. A questionnaire study among dentists in the Public Dental Service in Norway. *Journal of dentistry*. 2016;52:50-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.07.004>.
 19. Umer F, Naz F, Khan FR. An in vitro evaluation of microleakage in class V preparations restored with Hybrid versus Silorane composites. *J Conserv Dent*. 2011;14:103-107. doi: 10.4103/0972-0707.82600.
 20. Yoon YJ, Kim IH, Han SY. The reason why a sheath exists in enamel. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2015;16(4):807-811.

(received 24.11.2018, published online 29.03.2019)

(одержано 24.11.2018, опубліковано 29.03.2019)